

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-167500

(43)Date of publication of application : 13.06.2003

(51)Int.Cl.

G03H 1/26
G02F 1/13
G02F 1/1335

(21)Application number : 2001-367378

(71)Applicant : ART NAU:KK
HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 30.11.2001

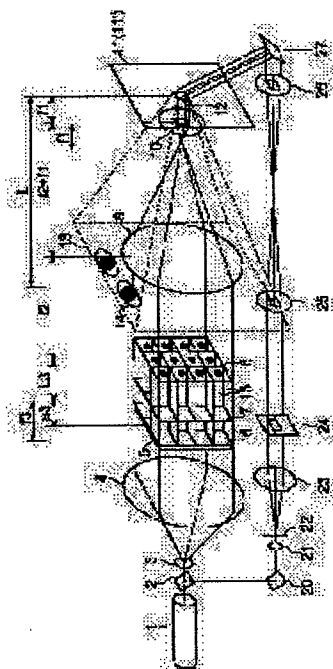
(72)Inventor : TAKEMORI TAMIKI
KON KENJI

(54) METHOD FOR MAKING HOLOGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for making a hologram to decrease the noise observed in a reproduced image.

SOLUTION: In the method for making a hologram, a plurality of images displayed in a spatial optical modulating element 6 are used as the object light, the object light passes through a lens array 7 composed of a plurality of lenses disposed corresponding to the respective images included in the object light and through a reducing optical system 9, 10 to reduce the object light from the lens array 7, and the object light with reference light is made to irradiate a recording plane 11 to record the interference light of the object light and the reference light on the recording plane 11. Partitions 15 to separate each image from other images are disposed between the spatial optical modulating element 6 and the lens array 7 to decrease the noise.



2/2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-167500
(P2003-167500A)

(43) 公開日 平成15年6月13日 (2003.6.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 3 H 1/26		G 0 3 H 1/26	2 H 0 8 8
G 0 2 F 1/13	5 0 5	G 0 2 F 1/13	2 H 0 9 1
1/1335		1/1335	2 K 0 0 8

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-367378(P2001-367378)

(22) 出願日 平成13年11月30日 (2001.11.30)

(71) 出願人 598096337

有限会社アートナウ

青森県むつ市中央2丁目24-2

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 竹森 長樹

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

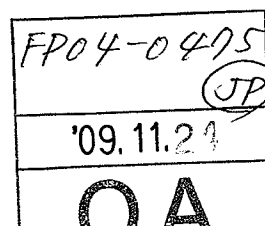
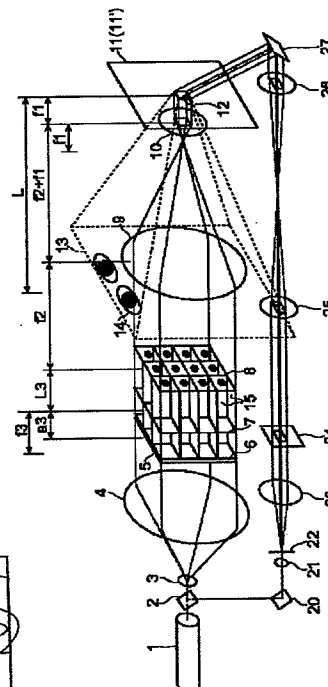
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホログラム作成方法

(57) 【要約】

【課題】 再生画像において観察されるノイズを低減可能なホログラム作成方法を提供する。

【解決手段】 このホログラム作成方法においては、空間光変調素子6に表示される複数の画像を物体光とし、物体光に含まれる個々の画像に対応して配置される複数のレンズからなるレンズアレイ7及びレンズアレイ7から出射された物体光を縮小する縮小光学系9、10を介して、物体光を参照光と共に記録面11上に照射し、この記録面11に物体光と前記参照光との干渉光を記録する。空間光変調素子6とレンズアレイ7との間に個々の画像を互いに隔離する仕切体15が設けられており、これにより、ノイズが低減される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 空間光変調素子又は拡散スクリーンに表示される複数の画像を物体光とし、該物体光に含まれる個々の画像に対応して配置される複数のレンズからなるレンズアレイ及び前記レンズアレイから出射された物体光を縮小する縮小光学系を介して、前記物体光を参照光と共に記録面上に照射し、この記録面に前記物体光と前記参照光との干渉光を記録するホログラム作成方法において、少なくとも前記空間光変調素子と前記レンズアレイとの間に個々の前記画像を互いに隔離する仕切体が設けられていることを特徴とするホログラム作成方法。

【請求項2】 前記空間光変調素子の前段側に拡散光源が設けられていることを特徴とする請求項1に記載のホログラム作成方法。

【請求項3】 前記拡散光源は、レーザ光源と、このレーザ光源及び前記空間光変調素子間に設けられた拡散板とを備えることを特徴とする請求項1に記載のホログラム作成方法。

【請求項4】 前記拡散光源は、前記レーザ光源から出射されたレーザ光のビーム径を拡大して前記拡散板に照射する拡大レンズと、前記拡散板から発散する拡散光を平行光化して前記空間光変調素子に照射するコリメートレンズとを備えることを特徴とする請求項3に記載のホログラム作成方法。

【請求項5】 前記拡散板から出射される光束の波長を λ 、前記コリメートレンズの口径をDS、前記コリメートレンズと前記空間光変調素子との間の距離をLS、前記コリメートレンズの光軸と、このコリメートレンズの径方向端部と前記空間光変調素子の端部を結ぶ線分との成す角度を θ 、前記空間光変調素子に表示される画素間隔をPとした場合、 θ が $\sin^{-1}(\lambda/P)$ 以上になるように、DS及びLSが設定されることを特徴とする請求項4に記載のホログラム作成方法。

【請求項6】 前記複数の画像の表示面と複数のレンズからなるレンズアレイとの間隔および前記レンズアレイと前記縮小光学系の間隔は、前記レンズアレイおよび前記縮小光学系による前記表示面の実像又は虚像位置が前記ホログラムの観察位置と一致するか、もしくは前記ホログラムから離れるように設定されることを特徴とする請求項1に記載のホログラム作成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ホログラム作成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 縦横に視差を有する一段階(one step)方式のリップマン型ホログラムの作成例が特開平3-249686号公報に記載されている。

【0003】 図6は、同公報に記載された二次元ホログラム作成装置の構成図である。このホログラム作成装置

では、レーザ光源103から出力されたレーザ光は、ビームスプリッタ104により2つに分岐され、分岐したレーザ光の一方は、レンズ系により光束径を拡げられ、透過型液晶表示器等の空間光変調素子F'に入射し、コンピュータにて作成された各視点からの画像を表示する空間光変調素子F'の個々の画素で振幅変調を受けた後、レンズにより感光材料111の背後から入射した参照光と干渉し、感光材料111上に要素ホログラムが形成される。

【0004】 このようにして、0.3mm~0.5mmの間隔で、ドット状要素ホログラムが感光材料111上にマトリックス状に配置され、リップマン型ホログラムが作成される。また、再生時には、上記参照光の入射方向と同じ方向から、光束径が大きい平行光でホログラムを照射することにより、ホログラム111上の各要素ホログラムから再生波が発生して物体像が再生される。

【0005】 しかしながら、一度に記録させる要素ホログラムの数は1個に限定されるため、全ての要素ホログラムを記録するためには膨大な記録時間を必要とする欠点があった。そこで、この欠点を解決する従来例について説明する。

【0006】 (従来例1) 特開2001-183962号公報は、縮小光学系を省いて一度に多数の要素ホログラムを記録するホログラム作成方法を開示している。同公報に記載の作成方法では、液晶パネルに視点を変えた3×4個の画像を表示し、この液晶パネルを通過したレーザ光に変調を与える。液晶パネルの画像情報を含むレーザ光は3×4個の凸レンズによるレンズアレイを通過する。凸レンズアレイの後側焦点面に要素ホログラムの大きさを決定するマスクと感光材料を配置し、間隔が表示画像の間隔に等しく、大きさがマスクの開口に等しい要素ホログラムを一度に12個記録することができる。この方法では、感光材料全面に記録するためにマスク開口の大きさだけ感光材料をずらして次の露光を行っている。

【0007】 (従来例2) 「M. Yamaguchi, H. Endoh, T. Koyama, N. Ohyama, "High-speed recording of full-parallax holographic stereograms by a parallel exposure system" (Opt. Eng. 35(6) 1556-1559 (June 1996))」は、12個の要素ホログラムを一度に記録するホログラム作成方法を開示している。この文献においては、液晶パネルに視点を変えた3×4個の画像を表示し、この液晶パネルを通過したレーザ光に変調を与える。液晶パネルの画像情報を含むレーザ光が3×4個の凹レンズによるレンズアレイを通過する。それぞれの凹レンズを通過した光は2つの凸レンズが組み合わせられたアフォーカル縮小光学系によって感光材料上に縮小投影される。ここで、凹レンズの前側焦点位置と感光材料面とは縮小光学系の結像関係を構成している。この作成方法では、感光材料全面に記録するために要素ホログラム

の3倍或いは4倍の距離だけ感光材料をずらして次の露光を行っている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】微小な要素ホログラムを縦横に沿って記録したステレオグラムは、縦視差と横視差を有し、且つホログラムと観察点の距離を変えても縦倍率と横倍率が一致し、再生像に歪を生じないという優れた特徴を有するが、記録する要素ホログラムの数が膨大となるため、多大の作成時間を要するという欠点を有する。

【0009】記録時間の短縮のために考えられる手段として、同時に複数の要素ホログラムを記録することが有効であるが、その実現手段として、以下の方法が挙げられる。

(a) お互いに非干渉である複数の光源と、それぞれに対応する複数の空間光変調素子を並列に配置し、複数の要素ホログラムを同時に記録する方法。

(b) 光源、空間光変調素子共に一個であるが、空間光変調素子に複数の画像を表示させ、それぞれの画像に対し複数の集光レンズを用いて複数の集光点を発生させ、これらの集光点で要素ホログラムを記録する方法。

(c) 上記(b)の方法の集光点面を更に縮小して複数の要素ホログラムを高密度で配列する方法。

(d) 上記(b)及び(c)の方法を、それぞれ複数同時に用いる方法。

【0010】従来例1は、上記(b)の方法であるが、一本のレーザビームを広げ、物体光や参照光に用いることから、各画像を照明する光や、要素ホログラムを記録する複数の参照光の光強度を同一にするために、中心から周辺に従って透過率が上昇するアンチ・ガウシアン・フィルタを用いることから、また、各要素ホログラムを記録する参照光の入射角度を厳密に同一にするため、角度調整の光学系を必要とし、高コストで複雑であるという欠点がある。

【0011】従来例2は(c)の方法であるが、文献1に開示の写真を観察すると、鮮明な再生像は得られていない。この理由として、主に実験精度上の原因が記述されている。(1) レンズアレイの配列精度が低く、

(2) レンズアレイのそれぞれのレンズの傾きによる収差が大きく、(3) 縮小光学系の収差により期待された再生光線角度や広がり角とならなかった等である。しかしながら、これには原理的な問題が内在する。

【0012】第1に、要素ホログラムに記録されるものは、凹レンズの前側焦点に位置する光源の縮小像と画像のスペクトルの畳み込み積分像であるが、この積分像の大きさは要素ホログラムの間隔に比較して微小なものとなる。従って、感光材料のダイナミックレンジを考慮して適正露光を行った場合、隙間が存在し、再生像の画質を劣化させる原因となる。

【0013】特開平6-266274号公報は、この隙

間を防ぐため、画素毎に位相を進めたり遅らせたりする位相板を挿入する手法を開示している。各位相変更要素はランダムに配置されている。要素ホログラムの大きさを全てに光を分布させるためには、予め縮小光学系の入力面で隙間のない光分布を形成させておかななくてはならない。

【0014】しかしながら、画素毎に4値程度の位相を変調する上述の手法では、その集光点の光分布の大きさDは、画素ピッチをP、凹レンズの焦点距離をf3、波長をλとすると、以下の(式1)で与えられる。

【0015】

【数1】

$$D = \lambda \times f3 / P$$

【0016】文献1の例に適合させると、 $D = 0.6328 (\mu m) \times 0.3 (m) / 93.75 (\mu m) = 2.0 mm$ であり、これは必要な画面サイズ(6mm)よりも小さく、縮小光学系で結像された要素ホログラムの大きさは0.1(mm)となり、画素間に隙間が必然的に発生し、再生像の画質を悪化させることになる。

【0017】第2に、それぞれの要素ホログラムの再生する液晶パネルの表示画像の位置が、要素ホログラムに近接しているため、再生光線の広がりが大きくなり再生像が劣化している。それぞれの要素ホログラムが再生する液晶パネルの表示画像の位置は、縮小光学系を構成する後段側レンズL1の焦点距離をf1、出力像位置をb1、縮小光学系を構成する前段側レンズL2の焦点距離をf2、入力像位置をa2とすると、以下の(式2)で示される。

【0018】

【数2】

$$b1 = f1 \times \left(1 + \frac{f1}{f2 - b2}\right) = f1 + \left(\frac{f1}{f2}\right)^2 \times (f2 - a2)$$

【0019】ここで、a2はレンズL2から高次回折像が除去された液晶パネルの結像位置までの距離である。文献1では、それぞれの値が明示されていないので断定は出来ないが、 $f1 / f2 = 1 / 20$ であり、 $a2 = 0$ としても $b1 \leq f1 + f2 / 400$ であるから、レンズL1の後側焦点より $f2 / 400$ だけ離れた位置に液晶パネルの像が結像することになる。

【0020】例えば $f2 = 500 (mm)$ 、 $f1 = 25 (mm)$ と仮定すると、要素ホログラムより数mm程度離れた位置に液晶パネルが $1 / 20$ の大きさで再生されることになる。

【0021】要素ホログラムから発生する光線について考えると、要素ホログラムから隣接する再生ピクセルの光線間隔角度は、要素ホログラムの大きさを0、液晶パネルのピクセルの大きさを $93.75 (\mu m) / 20 = 4.69 (\mu m)$ 、要素ホログラムと再生ピクセルの間隔を1.25(mm)とすると、光線間隔角度は0.2

1度となる。

【0022】しかしながら、要素ホログラムの大きさが0.1(mm)と仮定すると要素ホログラムから一つの再生ピクセルを通過する発散角度は4.58度となる。したがって、この場合、異なる角度から観察されるべき立体像の観察角度が少なくなる結果を招くと共に、観察視点には複数のピクセルを通過した光線が重なって入射するため様々な角度から観察されるべき立体像の光線が同時に観察され、再生像はボケることとなる。

【0023】本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、再生画像において観察されるノイズを低減可能なホログラム作成方法を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明のホログラム作成方法によれば、空間光変調素子又は拡散スクリーンに表示される複数の画像を物体光とし、該物体光に含まれる個々の画像に対応して配置される複数のレンズからなるレンズアレイ及び前記レンズアレイから出射された物体光を縮小する縮小光学系を介して、前記物体光を参照光と共に記録面に照射し、この記録面に前記物体光と前記参照光との干渉光を記録するホログラム作成方法において、少なくとも前記空間光変調素子と前記レンズアレイとの間に個々の前記画像を互いに隔離する仕切体が設けられていることを特徴とする。

【0025】また、前記複数の画像の表示面と複数のレンズからなるレンズアレイとの間隔および前記レンズアレイと前記縮小光学系の間隔は、前記レンズアレイおよび前記縮小光学系による前記複数の画像の表示面の実像又は虚像位置が前記ホログラムの観察位置と一致するか、もしくは前記ホログラムから離れるように設定されることを特徴とする。

【0026】本作成方法によれば、空間光変調素子を通過した物体光は拡散照明光を変調したものであるため、レンズアレイの個々の集光像の大きさは、空間光変調素子に表示される複数画像の個々の大きさ以上で照度がほぼ均一となる。このため要素ホログラム間に隙間が生じることを防ぐことになる。またレンズアレイの集光像がお互いに重ならないように仕切体が設けられているため、特定の要素ホログラムが記録されるべき領域に隣接する要素ホログラムを記録する光が混入することを防ぐことから要素ホログラムの大きさを適度の大きさに隙間無く整然と記録出来る。

【0027】この要素ホログラムの大きさを設定出来ることは、要素ホログラムから空間光変調素子の画素を再生する光束の太さが必要以上の太さになることを防止し、よって観察される3次元像再生像の空間的分解能を向上させることが出来る。

【0028】さらにレンズアレイと空間光変調素子との間隔およびレンズアレイと縮小光学系との間隔を設定す

ることで再生される空間光変調素子の大きさや位置を決定し、要素ホログラムから空間光変調素子の画素を再生する光束の太さを設定出来るため、観察される3次元像再生像の空間的分解能を向上させることが出来る。さらに再生される空間光変調素子の位置に関して、隣接する光束同士が視点における瞳の中に入射し空間的に重ならない配置、すなわちホログラムと視点との距離がホログラムから空間光変調素子の再生像までの距離より等しいか短い距離と設定することが出来るため観察される3次元像再生像の品質を向上させることが出来る。と同時に予期し得ない空間光変調素子上から発生する散乱光は、視点もしくは視点背後に結像するため少なくとも再生される3次元像上またはその背後に観察されその再生像の品質を落とすことはない。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、実施の形態に係るホログラム作成方法について説明する。なお、同一要素には同一符号を用い、重複する説明は省略する。

【0030】(第1実施形態)図1はホログラム作成装置の説明図である。この装置においては、空間光変調素子6に複数の画像をマトリックス状に表示し、それぞれの画像を個々の画像に対応する複数のレンズからなるレンズアレイで集光した後、アフォーカル光学系で縮小結像させて、感光材料11に照射・記録する。空間光変調素子6の像が虚像化され、視点はその虚像位置、もしくは虚像位置から感光材料までの範囲に置かれる。

【0031】この装置は、単一波長のレーザビームを出射するレーザ光源1と、レーザ光源1から出射されたレーザビームを分岐するハーフミラー2を備えている。ハーフミラー2によって分岐されたレーザビームは、それぞれ(i)物体光照射用光学系と、(ii)参照光照射用光学系を通過して、感光材料11の表面(前面とする)及び裏面上にそれぞれ照射され、これらの干渉光によってホログラムが作成される。作成されたホログラムは、(iii)ホログラム再生用光学系によって再生される。以下、詳説する。

【0032】(i)物体光照射用光学系

物体光照射用光学系は、ハーフミラー2の通過光が主光線として入射するように配置されたレンズ3、4からなるビームエキスパンダと、このビームエキスパンダ3、4によって光束径が拡大された平面波が照射される拡散板5と、拡散板5の直後に配置された空間光変調素子6と、空間光変調素子6を通過した光(空間光変調素子像)が入射する集光レンズアレイ7と、空間光変調素子像を構成する複数の画像がお互いに干渉しないように配置された遮光板(仕切体)15とを備えている。仕切体15は、少なくとも空間光変調素子6とレンズアレイ7による集光像の間の当該集光像がお互いに重ならないように設けられる。

【0033】集光レンズアレイ7から出射された物体光

(複数の画像)は、レンズ9、10からなる縮小光学系の前側焦点面8において略一様な光強度で拡散され、縮小光学系で縮小された後、感光材料11の前面に入射する。

【0034】この縮小光学系はアフォーカル光学系であり、レンズ9の前側焦点面8の入力画像をレンズ10の後側焦点面に縮小結像させる。但し、図1では理解の容易のため、周囲の仕切体を外して図示している。

【0035】空間光変調素子6は、電気アドレス型の空間光変調器であり、液晶ディスプレイ等から構成され、入射する平面波の光の強度(振幅)を画素毎に変調して透過させる。空間光変調素子6の表示画像、すなわち、空間光変調素子6からの出力光像は、各画素の透過率を変化させることによって変化させることができる。本例で使用した液晶ディスプレイは1024×768画素のものであり、この全表示領域に256×256画素の画像を12個(横3列×縦4行)表示させることができる。

【0036】理解を容易にするため、レンズアレイ7のそれぞれのレンズの光軸と、レンズ9の前側焦点面8と交差した12個の点を、12個の画像として図示すると、アフォーカルレンズ光学系からなる縮小光学系(レンズ9、10)を介して、感光範囲13を通過する光束の大部分が、12個の縮小画像として感光材料11上に結像し、12個の要素ホログラムとなる。

【0037】(i i) 参照光照射用光学系
参照光照射用光学系は、上記ハーフミラー2による反射光を更に反射させて感光材料11の裏面側に導く平面反射鏡群20、27を備えており、感光材料11の裏面は参照光の入射方向に対して傾いている。レーザ光源1から出射された参照光は、ビームエキスパンダ(アフォーカルレンズ光学系)21、23によって、物体光と同様にビーム径を広げて平行光化される。ビームエキスパンダ21、23内の絞り位置にはアパーチャとしての空間フィルタ22が配置されており、これらによって波面の整形化が成される。

【0038】ビーム径が広げられた参照光は、矩形開口を有するマスク24を通過した後、アフォーカルレンズ光学系25、26を通過して感光材料11上に結像される。マスク24の開口の面積は、参照光が物体光と同じ面積で感光材料11上に照射されるように設定される。

【0039】感光材料11の前面は、縮小光学系を構成するレンズ10の光軸に垂直であり、レンズ10への入射光の主光線(物体光)は感光材料11に垂直に入射している。感光材料11の前面側からは物体光が垂直に、裏面側からは参照光が傾斜して感光材料11の同一領域に入射する。これらの物体光及び参照光の入射によって、感光材料11の微小領域12内には、所謂リップマン型の要素ホログラムが複数露光される。微小領域12内には、12個の要素ホログラムが含まれる。

【0040】感光材料11は、銀塩乳剤を透明ガラス板上に塗布してなり、乳剤としては、他にも重クロム酸ゼラチン等のホログラム用感材を用いることができる。また、フォトリソマー等の高分子材料も用いることができる。

【0041】本例では、複数の視点から観察されたそれぞれの画像を、空間光変調素子6に複数同時に表示しながら、それぞれの視点位置に対応した感光材料11の微小領域12内に、干渉光としての上記複数の要素ホログラムを記録(露光)していく。縮小光学系のレンズ10の光軸に垂直な平面を規定する2軸をx軸及びy軸とする。

【0042】1つの露光を終了すると、感光材料11をx軸又はy軸に沿って移動させ、次の要素ホログラムの露光を行う。この要素ホログラムの移動量は、空間光変調素子6の表示面積に縮小光学系の倍率を掛けた量である。これにより、それぞれが複数の視差画像を含む複数の要素ホログラムは、感光材料11上においてマトリックス状に配置されることとなる。

【0043】感光材料11を現像処理すると、複数の微小領域12内に照射された干渉縞の強度に応じて透過率及び/又は位相が変化するリップマン型の複数の要素ホログラムが複数の領域に形成されてなるホログラム(11'とする)が作成される。

【0044】ホログラム11'には、実写した現実の物体あるいはコンピュータグラフィック等で作成された架空の物体を記録出来る。

【0045】現実の物体を表示させる2つの方法について記述すると、ひとつ目として視点からホログラム11'を観察し再生物体をホログラム11'の奥に表示させるには、要素ホログラムの位置に撮像レンズ中心を配置して物体を撮像した撮像画像を現実の物体と再生物体との大きさを勘案し空間光変調素子6に拡大縮小して同時に並列表示させて感光材料11'に記録する操作を繰り返す。ふたつ目として再生物体をホログラム11'の手前やホログラム11'が再生物体を横切るように表示させるためには、複数撮像した撮像画像の画素を並び替えて新たに作成した複数の画像を空間光変調素子6に同時に並列表示させて感光材料11'に記録する。

【0046】仮想物体を表示させるには、要素ホログラムを視点、空間光変調素子の実像もしくは虚像をスクリーン表示画像とみなし、仮想物体を任意に配置した後要素ホログラムを視点とする透視変換を行い、重なった物体については実際の観察視点に近い物体を残す隠面消去を行った画像を空間光変調素子6に同時に並列表示させて感光材料11'に記録する操作を繰り返す。これらの種々の表示画像の作成方法については、従来から知られており、例えば、特開平7-36357号公報、特許第3155263号公報に記載されている。

【0047】(i i i) ホログラム再生用光学系

ホログラム11'の再生光として、参照光とは逆方向に入射する共役参照光を用い、共役光再生を行うと、ホログラム11'を照明する再生光は、光進行方向にホログラム11'をそのまま透過する0次回折光成分と、物体光と同じ波面を有するように反射する1次回折光成分とを有することとなる。

【0048】ここで、空間光変調素子6が、レンズアレイ7の前側焦点位置よりもレンズアレイ7側に配置されていた場合について考える。すなわち、レンズアレイ7の前側及び後側焦点距離を f_3 、空間光変調素子6とレンズアレイ7との間の距離を a_3 とすると、 $a_3 < f_3$ の場合である。

【0049】この場合、ホログラム11'の作成時において、空間光変調素子6から出射された物体光（空間光変調素子像）は、上記前側焦点位置よりも光源側の位置（この位置を虚像位置と呼ぶこととし、この位置をホログラム11'（感光材料11）からの距離 L ）に仮想的におかれた空間光変調素子像（虚像と呼ぶこととする）13からの発散光と等価なものとなっている。空間光変調素子6には、複数の画像が表示されているので、それぞれの画像は要素ホログラムのピッチに比例してずれ、多重再生される。

【0050】この虚像位置 L は、空間光変調素子6とレンズアレイ7との距離 a_3 、および縮小光学系の前焦点とレンズアレイ7との距離 L_3 、言い換えるとレンズアレイ7の後段側の仕切体の長さ L_3 、を設定することにより定められる。この際にホログラム11'と視点14との距離がホログラム11'と虚像位置 L との距離に等しいか、もしくは短くなるように a_3 と L_3 を設定する。再生照明光として共役参照光を用いる場合には、ホログラム11'は空間光変調素子6の虚像13を再生することになる。

【0051】ひとつの要素ホログラムは空間光変調素子6に表示された複数の画像の中のひとつの画像の虚像を再生することから、虚像13を構成する画素は該当する要素ホログラムからの光束により再生されているとも見なすことが出来る。またホログラム11'より観察される3次元像はこれらの光束から構成されていることになる。従って光束の太さが観察される3次元像の3次的分解能を決定することになる。

【0052】視点を無視し3次元像を実像としてスクリーン等に投影する場合、この3次的分解能を最小にするには虚像13を観察される3次元像の実像に近接させることとなる。しかし視点から直接3次元像を観察する際、隣接する光束同士が視点における瞳の中に入射し空間的に重なってしまう配置、すなわちホログラム11'と視点との距離がホログラム11'から虚像13までの距離より長い場合には、観察される3次元像の分解能を下げることになる。

【0053】従って、少なくともホログラム11'と視

点との距離がホログラム11'から虚像13までの距離より短くすることが望ましく、最良の画質で3次元像を観察できるためには視点の位置に虚像13を位置させる必要がある。

【0054】なお、距離 L 、空間光変調素子6の虚像13への変換時の拡大倍率 M 、空間光変調素子6の表示画像について若干の説明をしておく。

【0055】 f_1 を縮小光学系後段側レンズ10の焦点距離、 f_2 を縮小光学系前段側レンズ9の焦点距離、 f_3 をレンズアレイ7の焦点距離、 a_3 を空間光変調素子6とレンズアレイ7との距離、 L_3 を縮小光学系の前焦点とレンズアレイ7との距離あるいはレンズアレイ7の後段側の仕切体の長さとして、距離 L 及び拡大倍率 M は以下の式で与えられる。

【0056】

【数3】

$$L = (f_1/f_2)^2 \times \left\{ \frac{a_3 \times f_3}{a_3 - f_3} - L_3 \right\}$$

【0057】

【数4】

$$M = \frac{f_1}{f_2} \times \frac{f_3}{f_3 - a_3}$$

【0058】ここで、空間光変調素子6の画素ピッチを P とすると、空間光変調素子の虚像の縦横の分解能は $M \times P$ となり、 $M \times P < \text{瞳径 (約3mm)}$ を満足するようにすると、要素ホログラム1個から瞳に入射する光線の数が増え、画素に欠落が生じても目立たず、3次元再生像が視点変化に対応して滑らかに変化するようになる。

【0059】また、空間光変調素子6の表面からの散乱光が物体再生の背景にノイズとして現れることが有るが、空間光変調素子6そのものの再生像が視点もしくは視点背後に結像するため、少なくとも再生される3次元像上またはその背後に観察されその再生像の品質を落とすことはない。

【0060】更に、被写体としての3次元物体から、空間光変調素子6に転送する2次元画像は、視点を要素ホログラムの位置とした場合の透視変換により計算する。すなわち、3次元物体をワールド座標系 (x_w, y_w, z_w) で表現し、要素ホログラムの位置をワールド座標系上 $(x, y, 0)$ とすると、3次元物体の位置は、空間光変調素子6上の座標 (x_h, y_h) では、以下の式で示すように変換されている。

【0061】

【数5】

$$x_h = M \times (x_w - x) / z_w$$

【0062】

【数6】

$$y_h = M \times (y_w - x) / z_w$$

【0063】詳説すれば、座標 (x_h, y_h) に $(x$

w, y_w, z_w) の輝度情報や、色情報を転送し、空間光変調素子6には計算された2次元画像が表示される。この時、同じ (x_h, y_h) 座標に複数の情報が重複する場合には、多くの場合、空間光変調素子6の虚像13を観察者の近くに配置するようにするため、 z_w を比較し、空間光変調素子6の虚像13に近いものを選択する。

【0064】次に、用いた素子の具体例を示す。

【0065】要素ホログラムをピッチ0.66mm毎に $3 \times 4 = 12$ 個一括露光し、それぞれの視域角(要素ホログラムからの再生光線発散角)を ± 30 度に設定した。空間光変調素子6は、製造元: SONY(株)、型番: LCX023AL、画素間隔(ピッチ): 26 μ m、画素数: 1024 \times 768のものを用いた。この空間光変調素子6に256 \times 256の画像を $3 \times 4 = 12$ 画像同時表示させた。レンズ9(L2)、10(L1)による縮小率は $0.66 / (26 \times 256) = 0.1$ を満足するアフォーカル光学系を用いた。また、縮小率0.1を考慮し、光軸から100ピクセル離れた画素を通過する光が、レンズアレイ7から発散角3度となるように、レンズアレイ7の焦点距離 f_3 は50mmとした。

【0066】次に、空間光変調素子6がレンズアレイ7の前側焦点位置よりも光源側に配置されていた場合について考える。

【0067】(第2実施形態)図2はホログラム作成装置の説明図である。この装置においては、空間光変調素子6に複数の画像をマトリクス状に表示し、それぞれの画像を個々の画像に対応する複数のレンズからなるレンズアレイで集光した後、アフォーカル光学系で縮小結像させて、感光材料11に照射・記録する。空間光変調素子6の像は実像化され、視点はその実像位置、もしくは実像位置から感光材料までの範囲に置かれる。

【0068】この装置は第1実施形態のものと同様であり、空間光変調素子6がレンズアレイ7の前側焦点位置よりもレーザ光源1側に配置されている点のみが異なる。本例においても、上記と同一工程において、感光材料11からホログラム11'が作成される。

【0069】本例で説明される $a_3 > f_3$ の場合、ホログラム11'の作成時において、空間光変調素子6から出射された光像は、レンズアレイ7、縮小光学系9、10の通過によって、レンズ10の後側焦点位置よりもレンズ10から離隔した位置(この位置を実像位置と呼ぶこととし、この位置をホログラム11'(感光材料11)から距離 L' で表示することとする)上に、本来、結像する。すなわち、レンズ10から出射される物体光は、実像位置 L' に結像するはずの空間光変調素子像(実像と呼ぶこととする)13'である。

【0070】上記実施形態と同様に、ホログラム11'の再生光として、図2における参照光と同一方向に入射

する再生光を用いて再生を行うと、要素ホログラムを照明する再生光は光進行方向に要素ホログラムをそのまま透過する0次回折光成分と、物体光と同じ波面を有するように反射する1次回折光成分を有することとなる。

【0071】ホログラム11'の作成時には、実像位置 L' に結像(集光)するはずの実像13'が各要素ホログラムに記録されているので、再生光の照射によって、上記実像位置 L' に各要素ホログラムに対応した空間光変調素子像の実像が再生する。さらに、空間光変調素子6に複数の画像が表示されているので、それぞれの画像は要素ホログラムのピッチだけずれて多重に再生される。

【0072】この実像位置 L' は、空間光変調素子6とレンズアレイ7との距離 a_3 、および縮小光学系の前焦点とレンズアレイ7との距離 L_3 、言い換えるとレンズアレイ7の後段側の仕切体の長さ L_3 、を設定することにより定められる。この際にホログラム11'と視点14との距離がホログラム11'と実像位置 L' との距離に等しいか、もしくは短くなるように a_3 と L_3 を設定する。再生照明光として共役参照光を用いる場合には、ホログラム11'は空間光変調素子6の実像13'を再生することになる。

【0073】ひとつの要素ホログラムは空間光変調素子6に表示された複数の画像の中のひとつの画像の実像を再生することから、実像13'を構成する画素は該当する要素ホログラムからの光束により再生されているとも見なすことが出来る。またホログラム11'より観察される3次元像はこれらの光束から構成されていることになる。従って光束の太さが観察される3次元像の3次元的分解能を決定することになる。

【0074】視点を無視し3次元像を実像としてスクリーン等に投影する場合、この3次元的分解能を最小にするには実像13'を観察される3次元像の実像に近接させることとなる。しかし視点から直接3次元像を観察する際、隣接する光束同士が視点における瞳の中に入射する時空間的に重なってしまう配置、すなわちホログラム11'と視点との距離がホログラム11'から実像13'までの距離より長い場合には、観察される3次元像の分解能を下げることになる。従って、少なくともホログラム11'と視点との距離がホログラム11'から実像13'までの距離より短くすることが望ましく、最良の画質で3次元像を観察できるためには視点の位置に実像13'を位置させる必要がある。

【0075】なお、距離 L' 、倍率、透視変換などについては、上記(3)～(6)式の L を L' で置き換えて与えられる。

【0076】なお、別の実施形態として上記空間光変調素子6を削除し、前記拡散板5に新たな空間光変調素子の像を投影するホログラムの作成装置も有効性において変わらない。すなわち、上記空間光変調素子像を拡散ス

クリーン上に投影し、この拡散スクリーンを、上記第1又は第2実施形態に記載の空間光変調素子6と同一の位置に配置してもよい。

【0077】次に、拡散面光源で空間光変調素子を照明し、要素ホログラムの光分布の均一化と大きさの可変性を向上させ、空間光変調素子の像が虚像化され、視点はその虚像位置、もしくは虚像位置から感光材料までの範囲に置かれた実施例について説明する。

【0078】(第3実施形態)図3は、拡散面光源により、空間光変調素子を照明する光学系を備えたホログラム作成装置の説明図である。本実施形態と第1実施形態との相違点は、拡散板5を削除し、レーザ光源1からのビームをレンズ3で拡大し、拡散板5に照射して発生させた拡散面光源17を新たな光源とした後、タンデムに配置されたレンズ4とレンズアレイ7により、拡散面光源17をレンズ9の前側焦点面8上に多重結像させてあることである。その他の光学配置については第1実施形態と同様である。

【0079】始めに、拡散面光源をタンデムレンズ光学系の特殊な場合に相当するアフォーカル光学系で結像させた光学系について説明する。

【0080】拡散面光源17がレンズ4の前側焦点面に配置され、レンズ4の後側焦点面がレンズアレイ7の前側焦点面に一致している。この場合、拡散面光源17はレンズ9の前側焦点面8に結像し、その大きさは、レンズ4の焦点距離 f_4 、レンズアレイ7の焦点距離 f_3 、光源結像倍率を M_s とすると、以下の式で与えられる M_s を乗じたものとなる。

【0081】

【数7】

$$M_s = f_3 / f_4$$

【0082】したがって、レンズ9の前側焦点面8におけるそれぞれの画像の集光分布の大きさを(式7)により変更することが出来る。ここで、前記それぞれの画像の集光分布の大きさは少なくとも空間光変調素子6に表示される複数の画像の1つの大きさ以上にすることで、要素ホログラム11に隙間が発生しない。このためには、拡散面光源17の大きさを変化させるか、或いはレンズ4の焦点距離を大きくすることで設定できる。

【0083】次に、一般的なタンデムレンズ系の場合には、 f を2つのレンズの合成焦点距離、2つのレンズの距離を d 、2つ目のレンズから合成レンズの後側焦点までの距離を S_2 とすると、以下の関係が成立する。

$$\tan \theta = ((DS - S_{LM_D}) / 2) / LS$$

【0094】これらの2式(式11、式12)を満たす DS は、 $DS = 31.1\text{mm}$ であり、 δ を満たす値よりも小さくなっている。したがって、最低でも(式11)の角度 θ 、望ましくは、それ以上の角度を張る第2の拡散面光源19を用意することが必要である。このためには、レンズ4の口径を DS 以上とし、さらに、この口径

【0084】

【数8】

$$f = f_1 \times f_2 / (f_1 + f_2 - d)$$

【0085】

【数9】

$$d = f_2 \times (f_1 - d) / (f_1 + f_2 - d)$$

【0086】拡散面光源の結像位置と、その結像倍率は、これらの式から求められる。ここで空間光変調素子6に照射される光束は拡散光であるので、スペックルと呼ばれる斑点模様が空間光変調素子6の面上に重畳することになる。このスペックルの平均径が空間光変調素子6の変調要素(画素)間隔 P より大きければ、要素ホログラムから再生される空間光変調素子6の虚像13にも斑点模様が重畳し、その大きさが瞳径以上で有れば視点14から見て要素ホログラムが見えにくくなることもあり得る。従って空間光変調素子6上のスペックル径を可能な限り細かいものにする必要がある。

【0087】スペックル平均径 δ は、図4に示すように、長さ S_{LM_D} の空間光変調素子6の端点からレンズ4の有効口径 DS に対して張る面19を第2の拡散面光源と見做し、レンズ4と空間光変調素子6の間隔を LS とすると、以下の式で与えられる。

【0088】

【数10】

$$\delta = 1.2 \times \lambda \times LS / (DS - S_{LM_D}) < P$$

【0089】数値の一例を示すと、 $P > \delta = 26\mu\text{m}$ に対し、 $LS = 10\text{cm}$ 、 $\lambda = 0.6\mu\text{m}$ の場合、 $DS > 29.4\text{mm}$ となる。但し、スペックル平均径 δ が一桁小さくなるように設定すると、 $\delta = 2.6\mu\text{m}$ に対し、 $DS > 54.3\text{mm}$ となる。

【0090】あるいは、干渉の考え方より、空間光変調素子6の変調要素間隔(画素間隔) P を有する2つの光束の干渉を考えると、空間光変調素子6への入射角 θ 、すなわち、1つ画素側から見た入射光の広がり角(半角値)は以下の式で近似される。

【0091】

【数11】

$$\theta = \sin^{-1}(\lambda / P)$$

【0092】この値の一例を示すと、 $P = 26\mu\text{m}$ 、 $\lambda = 0.6\mu\text{m}$ に対して、 $\theta = 1.32$ 度となる。 $\tan \theta$ は以下の式で与えられる。

【0093】

【数12】

内に拡散光を入射させることが必要である。

【0095】このため、図3ではレンズ3により、レーザビームを拡大し、その発散角を制御することで対応している。具体的にはレンズ3の焦点距離を短くし、 DS 以上の第2の拡散面光源を発生させている。

【0096】拡散面光源17の直径を 1.5cm 、レン

ズ4のF値をF1.2、焦点距離 f を50mm、有効口径を35.7mm、レンズ4と空間光変調素子6の間隔を6mm、スペックル平均径 δ を0.5 μ mでホログラムを作成した。要素ホログラムから、空間光変調素子6の再生像に視点を置き、要素ホログラムを観測した時、要素ホログラムが観測できなくなるようなことは無かった。

【0097】すなわち、本例では、 λ を拡散面光源から発生する拡散光の波長、 P を空間光変調素子の変調要素間の間隔とした場合に、タンデムレンズ系の拡散面光源17に近い凸レンズ4の口径 DS と、凸レンズ4と空間光変調素子6との距離 LS の関係を、空間光変調素子6の任意の位置において、少なくとも(式11)の θ の角度以上を保持するように凸レンズの口径 DS と、凸レンズ DS と空間光変調素子6の間隔 LS とが設定される。この場合には、空間光変調素子6上で発生する拡散面光源17による干渉縞の間隔が略空間光変調素子6の変調要素間隔より小さくなるため、空間光変調素子6に表示される画像の画素に光が照射されず欠陥画素となる確率が低くなるという効果が発生する。

【0098】拡散面光源17の面積は、凸レンズ4の口径内全てに拡散光を入射させるだけで足る面積であり、空間光変調素子6上で発生する拡散面光源による干渉縞の間隔は略空間光変調素子6の変調要素間隔より小さくなる。

【0099】空間光変調素子6そのものの再生像が視点もしくは視点背後に結像するため、少なくとも再生される3次元像上またはその背後に観察されその再生像の品質を落とすことはない。

【0100】次に、拡散面光源で空間光変調素子を照明し、要素ホログラムの光分布の均一化と大きさの可変性を向上させて、空間光変調素子の像が実像化され、視点はその実像位置、もしくは実像位置から感光材料までの範囲に置かれた実施例について説明する。

【0101】(第4実施形態)図5は、拡散面光源により空間光変調素子を照明する光学系を備えたホログラム作成装置の説明図である。本実施形態の第2実施形態との相違点は、拡散板5を削除し、レーザ光源1からのビームをレンズ3で拡大し、拡散板5に照射し、拡散面光源17を新たな光源として後、タンデムに配置されたレンズ4とレンズアレイ7によりレンズ9の前側焦点面8上に結像させた点である。

【0102】その他の光学配置については第2実施形態と同一である。アフォーカルレンズ系においては、距離 L' 、拡大倍率 M 及び3次元物体の位置は(式3)～(式6)、光源結像倍率は(式7)と同様である。また、一般的なタンデムレンズ系においては、(式8)及び(式9)から拡散面光源の結像位置と、その倍率を求めることも同様である。更に、レンズ3により、レーザビームを拡大し、その発散角を制御する。

【0103】以上、説明したように、第1乃至第4実施形態のホログラム作成方法によれば、空間光変調素子6又は拡散スクリーン(図示せず)に表示される複数の画像を物体光とし、該物体光に含まれる個々の画像に対応して配置される複数のレンズからなるレンズアレイ7及びレンズアレイ7から射出された物体光を縮小する縮小光学系9、10を介して、物体光を参照光と共に記録面11上に照射し、この記録面11に物体光と参照光との干渉光を記録するホログラム作成方法において、少なくとも空間光変調素子6とレンズアレイ7との間に個々の前記画像を互いに隔離する仕切体15が設けられている。記録面11には、物体光と参照光との干渉光が同時に記録される。

【0104】また、前記複数の画像の表示面と複数のレンズからなるレンズアレイとの間隔および前記レンズアレイと前記縮小光学系の間隔は、前記レンズアレイおよび前記縮小光学系による前記複数の画像の表示面の実像又は虚像位置が前記ホログラムの観察位置と一致するか、もしくは前記ホログラムから離れるように設定される。

【0105】本作成方法によれば、空間光変調素子とレンズアレイの間には、レンズアレイの集光像が、お互いに重ならないように仕切体15が設けられているため、特定の要素ホログラムが記録されるべき領域に隣接する要素ホログラムを記録する光が混入することを防ぐことから隙間無く整然と記録出来る。

【0106】このことは要素ホログラムから空間光変調素子の画素を再生する光束の太さを必要以上の太さになることを防止出来るため、観察される3次元像再生像の空間分解能を向上させることが出来る。

【0107】第1乃至第4実施形態のホログラム作成方法によれば、空間光変調素子6の前段側に拡散光源が設けられている。拡散光が空間光変調素子6に照射されるので、空間光変調素子6上の照度が均一となる。また、拡散光のため、レンズアレイ7の個々の集光像の大きさは、空間光変調素子6に表示される複数画像の個々の大きさ以上となる。

【0108】この拡散光源は、レーザ光源1と、このレーザ光源1及び空間光変調素子6間に設けられた拡散板6によって構成することができる。拡散板5の出射光は、直接、空間光変調素子6に入射してもよい。この場合には、極めて簡単に安価な拡散光発生手段を実現できるという効果がある。また、この拡散光源は、第3及び第4実施形態に示すように、レーザ光源1から射出されたレーザ光のビーム径を拡大して拡散板5に照射する拡大レンズ3と、拡散板5から発散する拡散光を平行光化して空間光変調素子6に照射するコリメートレンズ4を備えている。

【0109】この場合には、1つ目の凸レンズの後側焦点面に空間光変調素子と2つ目の凸レンズの前側焦点面

を配置させるというアフォーカルレンズ系と異なり、空間光変調素子6と2つの凸レンズ3、4の配置に自由度が発生する。したがって、拡散面光源17の結像位置や結像倍率に対する自由度も発生する。

【0110】ホログラム11'によって再生される空間光変調素子の実像13までの再生距離をLは、ホログラム11'と観察位置14までの観察距離をLe、空間光変調素子6とレンズアレイ7との距離a3、および縮小光学系の前焦点とレンズアレイ7との距離L3、言い換えるとレンズアレイ7の後段側の仕切体の長さL3、縮小光学系後段側レンズ10の焦点距離f1、縮小光学系前段側レンズ9の焦点距離f2、レンズアレイ7の焦点距離f3、を用いた式(13)の関係を満たすようにa3、L3を設定する。

【0111】

【数13】

$$Le \leftarrow L = (f1/f2)^2 \times \left\{ \frac{a3 \times f3}{a3 - f3} - L3 \right\}$$

【0112】Lの大きさを設定することで空間光変調素子の像の大きさ、再生される画素の大きさも決定され、要素ホログラムと画素を結ぶ光束の太さも決定される。従って再生される3次元像の空間分解能を決定出来るという効果が発生する。前記不等号を満たす場合には、ホログラム11'と視点との距離がホログラム11'から虚像13までの距離より長い場合に生ずる隣接する光束同士が視点における瞳の中に入射し空間的に重なってしまう配置を避けることが出来、観察される3次元像の品質を向上させることが出来るという効果が発生する。そして等号の場合には、最良の画質で3次元像を観察できるという効果が発生する。

【0113】空間光変調素子6そのものの再生像にノイズが存在したり空間光変調素子6の投影像の再生像にノイズが存在してもノイズ自体が、視点もしくは視点背後に結像するため、少なくとも再生される3次元像上またはその背後にノイズが観察されそのために再生像の品質を落とす事態になることは無い。

【0114】

【発明の効果】本発明のホログラム作成方法によれば、要素ホログラムの大きさを適度の大きさに隙間無く整然と記録出来、それにより要素ホログラムから空間光変調

素子の画素を再生する光束の太さが必要以上の太さになることを防止すること、およびレンズアレイと空間光変調素子との間隔およびレンズアレイと縮小光学系との間隔を設定することで要素ホログラムから空間光変調素子の画素を再生する光束の太さを設定出来るため、観察される3次元像再生像の空間的分解能を向上させるという効果が発生する。さらに再生される空間光変調素子の位置に関して、隣接する光束同士が視点における瞳の中に入射し空間的に重ならない配置、すなわちホログラムと視点との距離がホログラムから空間光変調素子の再生像までの距離より等しいか短い距離と設定することが出来るため観察される3次元像再生像の品質を向上させるという効果が発生する。と同時に予期し得ない空間光変調素子上から発生する散乱光は、視点もしくは視点背後に結像するため少なくとも再生される3次元像上またはその背後に観察されその再生像の品質を落とすことは無いという効果も発生する。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態に係るホログラム作成装置の説明図である。

【図2】第2実施形態に係るホログラム作成装置の説明図である。

【図3】第3実施形態に係るホログラム作成装置の説明図である。

【図4】空間光変調素子6とレンズ4の関係を示す図である。

【図5】第4実施形態に係るホログラム作成装置の説明図である。

【図6】従来の二次元ホログラム作成装置の構成図である。

【符号の説明】

1…レーザ光源、2…ハーフミラー、3、4…ビームエキスパンダ、5…拡散板、6…空間光変調素子、7…レンズアレイ、8…前側焦点面、9、10…縮小光学系11…感光材料(記録面)、11'…ホログラム、13'…実像、13…虚像、14…観察視点、15…仕切体、17…拡散面光源、20、27…平面反射鏡群、21、23…ビームエキスパンダ、22…空間フィルタ、24…マスク、25、26…アフォーカルレンズ光学系。

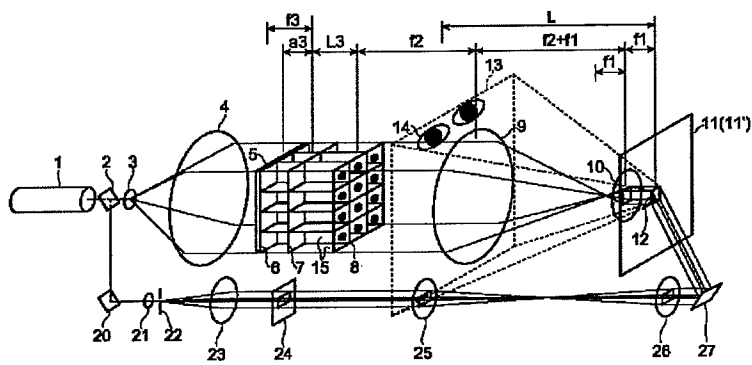
10

20

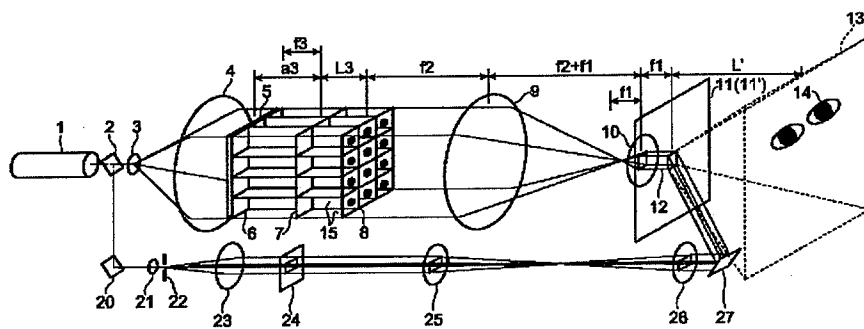
30

40

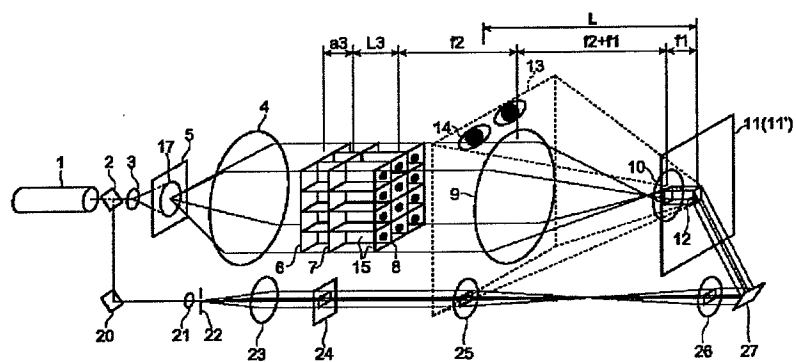
【図1】



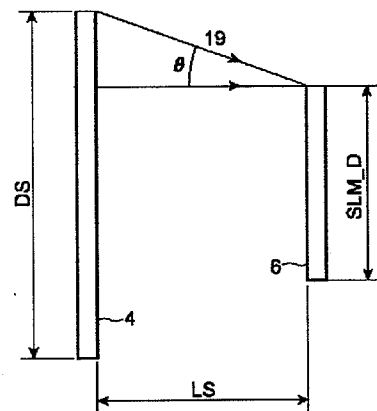
【図2】



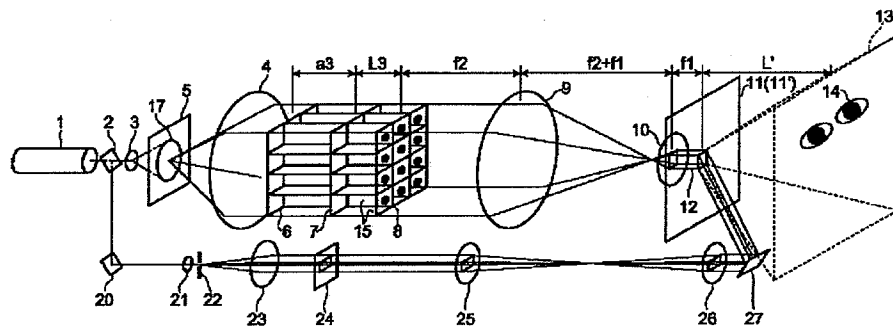
【図3】



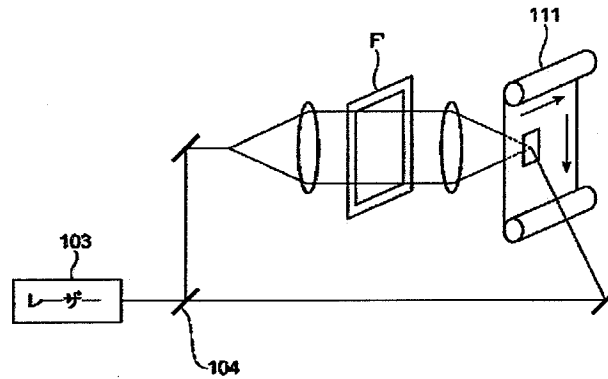
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72) 発明者 今 健次
青森県むつ市中央2丁目24-2 有限会社
アートナウ内

F ターム(参考) 2H088 EA05 EA48 HA21 HA22 HA25
HA28 MA01
2H091 FA15Z FA29X FA31Z FA46Z
LA16 MA01
2K008 AA04 BB04 CC01 DD13 DD15
EE04 FF03 FF08 HH06 HH23
HH25 HH26